

# Geoquímica de rocas máficas en un arco magmático Cámbrico peri-Gondwánico (Complejo de Órdenes, NO del Macizo Ibérico)

## *Geochemistry of mafic rocks in a Cambrian peri-Gondwanan magmatic arc (Órdenes Complex, NW Iberian Massif)*

P. Andonaegui<sup>1\*</sup>, S. Sánchez Martínez<sup>1</sup>, P. Castiñeiras<sup>1</sup>, J. Abati<sup>1</sup> y R. Arenas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. C/ José Antonio Novais 2. Universidad Complutense 28040 Madrid.

\*andonaeg@ucm.es

**Resumen:** Las Unidades Superiores de los Complejos alóctonos del NO del Macizo Ibérico, han sido interpretadas como parte de un arco magmático peri-Gondwánico, activo desde el Cámbrico medio hasta el Ordovícico inferior. Los principales cuerpos plutónicos, con una edad de ca. 500 Ma., son las gabronoritas de Monte Castelo, y los ortogneises de Corredoiras, que incluyen pequeños cuerpos de metagabronoritas. Estas rocas máficas presentan en efecto características geoquímicas compatibles con su generación en un arco magmático, pero ocupando distinta posición dentro del mismo. Las metagabronoritas de Monte Castelo tienen afinidad toleítica, anomalía negativa de Nb, altas relaciones  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0.5143119–0.513019), bajas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{inicial}}$  (0.702562–0.703174) y valores positivos de  $\epsilon\text{Nd}_i$  (+7.8 a +5.4). Sin embargo, las rocas máficas de Corredoiras son de afinidad calco-alcalina, con anomalía negativa de Nb, pero con valores bajos en la relación  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0.512575–0.512436), altos en  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{inicial}}$  (0.705082–0.706684) y valores de  $\epsilon\text{Nd}_i$  entre -0.65 y +1.83. Estas características geoquímicas permiten interpretar estas rocas máficas como generadas en distintas posiciones del arco magmático, localizándose las de Monte Castelo más próximas a la trinchera y las de Corredoiras en una posición más distal.

**Palabras clave:** Rocas máficas cámbricas, Arco magmático peri-gondwánico, Geoquímica isotópica Sr- Sm/Nd, NO Macizo Ibérico.

**Abstract:** The Upper Units of the allocthonous complexes of the NW Iberian Massif, have been interpreted as a section of a peri-gondwanan magmatic arc, active from Middle Cambrian to Early Ordovician times. The main plutonic bodies (500 Ma.) intruding the arc metasedimentary rocks, are Monte Castelo gabbro-norites, and Corredoiras orthogneisses, which included small metagabbro-norites bodies. These mafic rocks have geochemical features consistent with generation in different locations of a same magmatic arc. Monte Castelo metagabbro-norites have tholeiitic affinity, with negative Nb anomaly; its  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios are high (0.5143119–0.513019), whereas initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios are low (0.702562–0.703174), with positive  $\epsilon\text{Nd}_i$  values (+7.8 to +5.4). However Corredoiras mafic rocks have calc-alkaline affinity, also with negative Nb anomaly, low  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0.512575–0.512436) and high initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.705082–0.706684),  $\epsilon\text{Nd}_i$  values ranging between -0.65 and +1.83. In the  $\epsilon\text{Nd}$  versus age diagram, Monte Castelo samples show compositions equivalent to the contemporaneous depleted mantle, while Corredoiras samples suggest isotopic mixing of the original mafic mantle-derived magmas with a continental crust. These geochemical features can be linked to the setting of a volcanic arc, in which Monte Castelo metagabbros were located closer to the trench, while Corredoiras metagabbros would be located in a more distant position.

**Key words:** Cambrian mafic rocks, peri-Gondwanan magmatic arc, Sr and Sm-Nd isotopic geochemistry, NW Iberian Massif.

## INTRODUCCIÓN

En los complejos alóctonos de Galicia se han descrito dos terrenos esencialmente continentales (Unidades Superiores y Basales), separados por secuencias de afinidad oceánica (Unidades Ofiolíticas) (Arenas et al., en prensa).

Las Unidades Superiores están emplazadas tectónicamente sobre las Unidades Ofiolíticas y en ellas pueden distinguirse dos conjuntos: uno situado en una posición estructuralmente superior constituido por una potente secuencia metasedimentaria de esquistos

con estauroлита-distena y paragneises con biotita-sillimanita, intruidos por granitos y gabros, que posteriormente fueron afectados por un metamorfismo de P-intermedia de intensidad variable entre la zona de la clorita y la facies de las eclogitas.

En las Unidades Superiores del Complejo de Órdenes, se encuentran dos grandes cuerpos intrusivos: el gabo de Monte Castelo, localizado al Oeste y el ortogneis de Corredoiras, en una posición oriental, (Fig. 1). Este último incluye pequeños cuerpos de metagabronoritas.

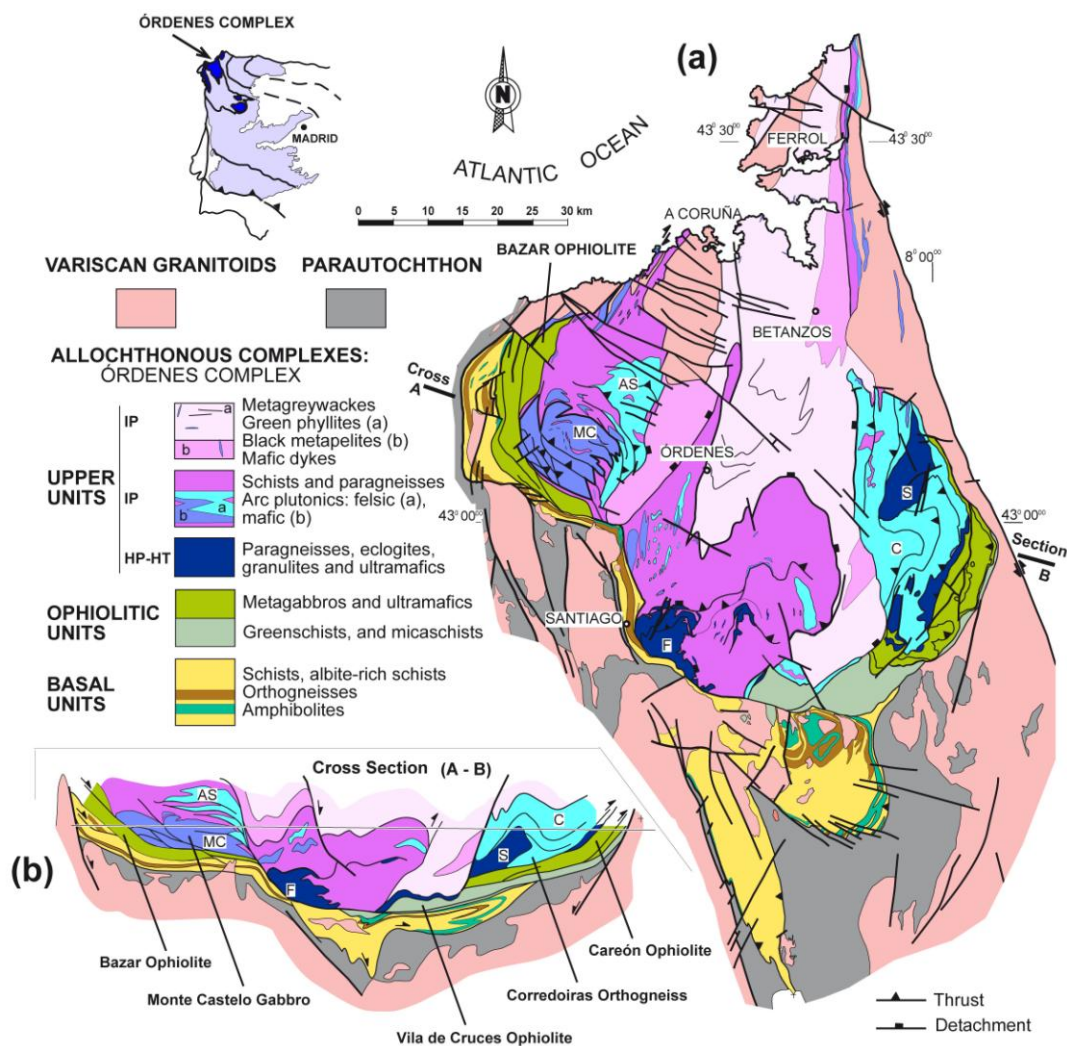


FIGURA 1. Mapa geológico (a) y corte (b) del Complejo de Órdenes. MC: Monte Castelo. C: Corredoiras

En este trabajo presentamos la geoquímica de las rocas máficas, que permite conocer el contexto concreto de generación de los magmas dentro del arco magmático.

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

En el gabro de Monte Castelo se han distinguido tres tipos en función de su mineralogía (Andonaegui et al., 2002): *metagabronoritas con olivino* (plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, olivino y hornblenda), *metagabronoritas con anfíbol* (plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, hornblenda y biotita poco frecuente) y *metagabronoritas con biotita* (plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y biotita). La presencia de olivino así como la presencia de texturas ofíticas en las rocas menos deformadas, indican un nivel de emplazamiento relativamente somero. Su edad de emplazamiento es de 499 Ma. (Abati et al., 1999).

El ortogneis de Corredoiras (Andonaegui et al., 2012) está constituido por paragneises migmatíticos y

rocas metaígneas que forman un macizo de composición fundamentalmente granodiorítica. Se han diferenciado ortogneises granodioríticos, tonalíticos y anfibólicos, en los que de forma dispersa se encuentran pequeños cuerpos de metagabronoritas con plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y escaso olivino, además algunos de ellos contienen pequeñas cantidades de cuarzo y feldespatos potásico, que se ha interpretado como xenocristales procedentes de las granodioritas. La edad de emplazamiento es de 492 Ma. (Andonaegui et al., 2012).

Todas las metagabronoritas son rocas de composición básica a intermedia (47.67–52.39 % SiO<sub>2</sub> Monte Castelo y 45.63–52.49 % Corredoiras), con muy bajos contenidos en K<sub>2</sub>O (0.01–0.39 % y 0.05–0.80 %, respectivamente) y una relación XMg (=Mg/Mg+Fe) entre 0.51 y 0.37 (Andonaegui et al., 2016). Para determinar su afinidad magmática se han utilizado diagramas de elementos inmóviles, así en el diagrama Th-Co (Hastie et al., 2007) (Fig. 2a) las rocas de Monte Castelo quedan en el campo de rocas toleíticas mientras que las de Corredoiras se proyectan en el

campo de rocas calcoalcalinas, además ambas litologías presentan anomalías negativas en Nb que las relacionan con zonas de subducción. Los mayores contenidos en Th y menores en Co de las rocas de Corredoiras, indican la influencia de una componente cortical que no estaría presente en las rocas de Monte Castelo. El diagrama Zr-Zr/Y de Pearce (1983) (Fig. 2b) permite diferenciar entre el tipo de margen destructivo, así las metagabronoritas de Monte Castelo estarían relacionadas con un arco de tipo oceánico, mientras que las de Corredoiras, con relaciones  $Zr/Y > 4$  se corresponderían con un margen continental.

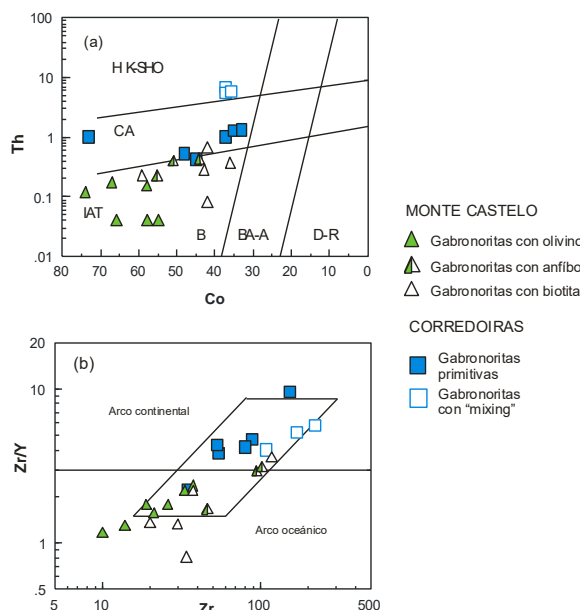


FIGURA 2. (a) Diagrama Th-Co (Hastie et al., 2007) IAT: toleitas de arco isla, CA: calco-alcalino, HK-SHO: alto potasio y shoshonitas. B: basaltos, BA-A: andesitas basálticas y andesitas, D-R: dacitas y riolitas. (b) Diagrama Zr-Zr/Y (Pearce, 1983).

## EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ISOTÓPICA

Hay una serie de elementos traza que permiten evaluar si rocas generadas en un arco mágnico, que proceden de magmas del manto, han sufrido algún tipo de mezcla isotópica con materiales corticales. En el diagrama Th/Nb vs. La/Nb (Plank, 2005) (Fig. 3 a) las gabronoritas de Monte Castelo tienen relaciones Th/Nb bajas (<3) y moderadas en La/Nb (1-4), proyectándose en los campos que ocupan los basaltos MORB y OIB, además con muy bajas relaciones Th/La (<0.1) características de rocas generadas por fusión del manto. Por el contrario las meta-gabronoritas de Corredoiras tienen relaciones Th/Nb algo más altas (primitivas 0.1-0.5, o reflejando "mixing"  $\approx 1$ ), con relaciones La/Nb moderadas (primitivas 1-2, con "mixing"  $\approx 3$ ), pero sus relaciones Th/La son altas, con valores próximos a los que presenta la corteza continental (corteza continental superior Th/La = 0.33, corteza continental indiferenciada Th/La = 0.27).

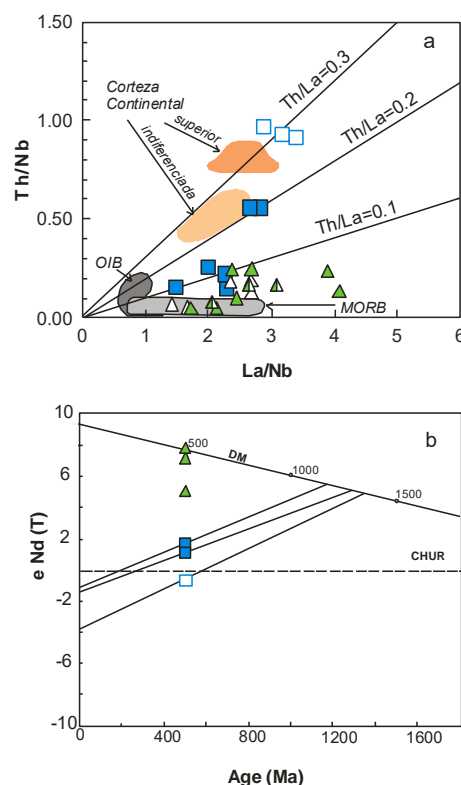


FIGURA 3. (a) Diagrama Th/Nb vs. La/Nb (Plank, 2008) MORB: basaltos de dorsal oceánica, OIB: basaltos de islas oceánicas. (b) Diagrama  $\epsilon Nd$  vs. edad.

Estos datos, unidos a que las rocas de Monte Castelo presentan contenidos en Th bajos, relaciones Th/Ce y U/Th bajas, y relaciones Ba/Th altas (Andonaegui et al., 2016), indican que se habrían generado por fusión del manto superior en una zona de subducción. Por el contrario las rocas máficas de Corredoiras tienen altos contenidos en Th, relaciones Th/Ce altas y relaciones U/Th y Ba/Th bajas, que manifiestan una mezcla con materiales corticales de los magmas mantélicos.

Considerando los valores de los isótopos de Sr y Sm-Nd (Andonaegui et al. 2016), las rocas de Monte Castelo presentan relaciones  $^{143}Nd/^{144}Nd$  altas (0.5143119–0.513019), y relaciones de  $^{87}Sr/^{86}Sr_{inicial}$  (0.702562–0.703174) bajas; mientras que las rocas máficas de Corredoiras tienen relaciones  $^{143}Nd/^{144}Nd$  (0.512575–0.512436) bajas y relaciones  $^{87}Sr/^{86}Sr_{inicial}$  (0.705082–0.706684) altas. Si además consideramos los valores de  $\epsilon Nd_i$  calculados para  $t = 492$  Ma., las rocas de Monte Castelo presentan valores positivos (+7.8, +7.4, +5.4). En las de Corredoiras los valores positivos corresponden con los tipos primitivos (+1.8, +1.1), mientras que la que refleja mezcla tiene un valor negativo (-0.6). En el diagrama  $\epsilon Nd$  vs. edad (Fig. 3b), dos de las muestras de Monte Castelo quedan sobre la línea de la composición del manto empobrecido (De Paolo, 1981), lo cual significa que la cristalización de estas rocas tuvo lugar inmediatamente después de su extracción de un manto empobrecido, por tanto son rocas juveniles que no presentan interacción con

materiales corticales más antiguos. No ocurre lo mismo con las rocas de Corredoiras, ya que en este mismo diagrama se obtienen unas edades modelo que varían entre 1165 y 1291 Ma., lo cual indica "mixing" de los magmas originales con materiales de procedencia cortical.

## DISCUSIÓN

La composición química de las metagabronoritas de Monte Castelo es toleítica con empobrecimiento en HFSE, particularmente con anomalía negativa en Nb característica de zonas de subducción. Por otro lado las relaciones Th/Nb, Th/Ce, U/Th son similares a las de los basaltos MORB, sugiriendo una fuente mántelica sin interacción con materiales corticales. El contenido relativamente bajo en Zr, relaciones bajas en Zr/Y y la composición juvenil de estas rocas indicarían que estas rocas se habrían generado en una zona de subducción próxima a la trinchera (Fig. 4).

Por el contrario las rocas máficas de Corredoiras tienen una composición química (tanto de elementos traza como isotópica) calcoalcalina que indica una contribución de materiales de la corteza en la fuente magmática. Estas características son compatibles con la generación de estas rocas en un arco magmático maduro en el que se habría desarrollado una corteza y además ocuparían una posición distal con respecto a la trinchera (Fig. 4).

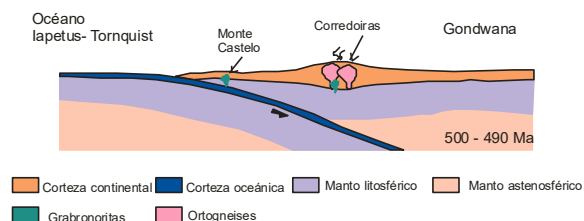


FIGURA 4. Interpretación del ambiente de generación de los macizos de Monte Castelo y Corredoiras.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CGL 2012-34618 del Ministerio de Economía y Competitividad.

## REFERENCIAS

- Abati, J., Dunning, G.R., Arenas, R., Díaz García, F., González Cuadra, P., Martínez Catalán, J.R. y Andonaegui, P. (1999): Early Ordovician orogenic event in Galicia (NW Spain): evidence from U-Pb ages in the uppermost unit of the Órdenes Complex. *Earth and Planetary Science Letters*: 165, 213-228.
- Arenas, R., Sánchez Martínez, S., Díez Fernández, R., Gerdes, A., Abati, J., Fernández-Suárez, J., Andonaegui, P., González Cuadra, P., López Carmona, A., Albert, R., Fuenlabrada, J.M. y Rubio

Pascual, F.J., (en prensa): Allochthonous terranes involved in the Variscan suture of NW Iberia: A review of their origin and tectonothermal evolution. *Earth-Science Reviews*.

- Andonaegui, P., del Tánago, J.G., Arenas, R., Abati, J., Martínez-Catalán, J.R., Peinado, M. y Díaz-García, F. (2002): Tectonic setting of the Monte Castelo gabbro (Órdenes Complex, northwestern Iberian Massif). Evidence for an arc-related terrane in the hanging wall to the Variscan suture. En: Martínez-Catalán, J.R., Hatcher, R.D. Jr, Arenas, R. y Díaz-García, F. (eds) *Variscan-Appalachian dynamics: the building of the Paleozoic basement*. Boulder Colorado, Geological Society of America Special Paper: 364: 37-56.
- Andonaegui, P., Castiñeiras, P., González-Cuadra, P., Arenas, R., Sánchez-Martínez, S., Díaz-García, F. y Martínez-Catalán, J.R. (2012): The Corredoiras orthogneiss (NW Iberian Massif): geochemistry and geochronology of the Paleozoic magmatic suite developed in a peri-Gondwanan arc. *Lithos*, 128-131: 84-99.
- Andonaegui, P., Sánchez-Martínez, S., Castiñeiras, P., Abati, J. y Arenas, R. (2016): Reconstructing subduction polarity through the geochemistry of mafic rocks in a Cambrian magmatic arc along the Gondwana margin (Órdenes Complex, NW Iberian Massif). *International Journal of Earth Sciences*, 105-3: 713-725.
- De Paolo, D.J (1981): Neodymium isotopes in the Colorado Front range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, 291: 193-196.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. y Mitchell, S.F. (2007) Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*, 48-12: 2341-2357.
- Pearce, J.A. (1983): Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (eds) *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich: 230-249.
- Plank, T. (2005) Constraints from thorium/lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents. *Journal of Petrology*, 46: 921-944.